

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

PROYECTO DE GRADO



OBTENCIÓN EXPERIMENTAL DE LOCOTO EN POLVO

(Capsicum pubescens)

Por:

HECTOR GONZALO VILLARROEL CRUZ

**Modalidad de graduación: Proyecto de Grado Investigación Aplicada presentado
a consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL
SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en
Ingeniería Química.**

2025

TARIJA – BOLIVIA

VºBº

M.Sc. Ing. Marcelo Segovia Cortez

DECANO

Facultad de Ciencias y Tecnología

Ing. Fernando Cortéz

VICEDECANO a.i.

Facultad de Ciencias y Tecnología

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

Ing. Luis Fernando Zenteno Benítez

Ing. Maiza Paz Aldana

Ing. Mery Gudíño Zambrana

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidad del autor.

DEDICATORIA:

El presente trabajo está dedicado a Dios por guiarme en todo el trayecto de mi vida. A mis padres Héctor Villarroel, Cecilia Cruz y mi hermana Dana Villarroel por ser mi motor y por toda la confianza depositada en mí.

AGRADECIMIENTO:

A Dios por haber guiado cada paso de mi vida siempre. A mis padres, hermana y abuelos por confiar siempre en mí. A mis compañeros que fueron incondicionales y me acompañaron en todo el trayecto de la carrera. A la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”, en especial a la carrera de Ingeniería Química y sus Docentes por la formación académica que me dieron.

Si alguien pudo yo
también puedo, y si nadie
pudo podría ser el primer
en hacerlo.

- Ilia Topuria.

ÍNDICE

	Página
Advertencia.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Pensamiento.....	iv
Resumen.....	v

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES.....	1
Generalidades.....	1
Objetivos.....	8
Objetivo general.....	8
Objetivos específicos	8
Justificación tecnológica:	8
Justificación Social:	9
Justificación ambiental:.....	9

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1. MARCO TEÓRICO.....	10
1.1. Descripción del locoto en polvo	10
1.2. Descripción de la materia prima	10
1.3. Clasificación o variedades	11
1.3.1. Capsicum annum.....	11
1.3.2. Capsicum chinense.....	11
1.3.3. Capsicum frutescens	12
1.3.4. Capsicum baccatum	13
1.3.5. Capsicum pubescens	13
1.4. Variedades de locoto cultivadas en Bolivia	15
1.5. Taxonomía del locoto.....	18
1.6. Descripción botánica del cultivo.....	18
1.6.1. Raíz....	19

1.6.2. Tallo...	19
1.6.3. Hojas...	19
1.6.4. Flores.....	19
1.6.5. Fruto.....	19
1.6.5.1. Epicarpio: La piel que encierra el sabor.....	20
1.6.5.1.1. Variedad de colores:.....	20
1.6.5.1.2. Textura	20
1.6.5.1.3. Protección.....	20
1.6.5.2. Mesocarpio: El corazón picante del locoto	20
1.6.5.2.1. Concentración de capsaicina:.....	20
1.6.5.2.2. Humedad y sabor	20
1.6.5.2.3. Semillas:.....	21
1.6.5.3. Endocarpio: La envoltura de las semillas	21
1.6.5.3.1 Función protectora	21
1.6.5.3.2. Textura	21
1.7. Etapas de desarrollo del cultivo	22
1.7.1. Almacigado	22
1.7.2. Desarrollo vegetativo	22
1.7.3. Floración	22
1.7.4. Maduración	23
1.8. Características agroclimáticas del locoto.....	24
1.8.1. Altura..	24
1.8.2. Precipitación.....	24
1.8.3. Temperatura	24
1.8.4. Vientos	24

1.8.5. Nubosidad	24
1.8.6. Fecha de siembra.....	24
1.9. Enfermedades y plagas del locoto.....	25
1.9.1. Enfermedades.....	25
1.9.1.1. Amarillento	25
1.9.1.2. Antracnosis.....	25
1.9.1.3. Risotonia Solanacearum.....	25
1.9.1.4. Virus mosaico del Tomate	25
1.9.1.5. Nematodo nodular de la raíz	26
1.9.1.6. Oidiosis	26
1.9.1.7. Pudrición de flores y frutos.....	26
1.9.1.8. Mancha negra o tizón temprano	26
1.9.1.9. Marchites bacteriana	26
1.9.2. Plagas..	27
1.9.2.1. Ácaros	27
1.9.2.2. Gusano de Tierra	27
1.9.2.4. Caracha o mosquilla de los brotes	27
1.9.2.5. Pulgones.....	27
1.9.2.6. Mosca minadora.....	27
1.9.2.7. Comedores de hojas	27
1.9.2.8. Comedor de frutos.....	28
1.9.2.9. Enrollador de hojas	28
1.10. Composición química	28
1.11. Valor nutricional	29
1.11.1. El locoto tiene propiedades desinflamatorias y antibióticas	29

1.11.2. El locoto produce endorfina.....	29
1.11.3. El locoto es útil para combatir la neuropatía diabética	29
1.11.4. El locoto es bueno para la hipertensión	29
1.11.5. El locoto es fuente de vitamina C y ayuda para combatir la anemia y excelente Antioxidante.....	30
1.11.6. El locoto ayuda a curar quemaduras	30
1.12. Capsaicina	30
1.12.1. Propiedades Antimicrobianas	32
1.12.1.1. Efectividad Contra Patógenos:.....	32
1.12.1.2. Aplicaciones en Conservación de Alimentos	32
1.12.1.2.1. Carnes y Productos Lácteos.....	32
1.12.1.2.2. Frutas y Verduras:.....	33
1.12.1.2.3. Productos Procesados.....	33
1.12.2. Ventajas del Uso de Capsaicina como Conservante	33
1.12.2.1. Naturalidad.....	33
1.12.2.2. Salud:	33
1.12.2.3. Seguridad:	33
1.12.3. Estudios y Evidencia Científica	33
1.12.3.1. Investigaciones Recientes	33
1.12.3.2. Eficiencia Comparativa.....	33
1.13. Escala de Scoville	34
1.14. Selección y Descripción del proceso para la obtención experimental de locoto en polvo	34
1.14.1. Color	34
1.14.2. Selección del Locoto Adecuado.....	35
1.14.2.1. Forma	36

1.14.2.2. Maduración	36
1.14.2.2.1. Sabor intenso y afrutado	36
1.14.2.2.2. Picante intenso	36
1.14.3. Pelado.....	36
1.14.3.1. Pelado químico:	36
1.14.3.1.1. Prelavado.....	37
1.14.3.1.2. Pelado.....	37
1.14.3.1.3. Lavado.....	37
1.14.3.1.4. Neutralización	37
1.14.3.2. Pelado por escaldado.....	38
1.14.3.2.2. Escaldado por vapor.....	39
1.14.3.2.3. Escaldado químico.	40
1.14.3.3. Pelado por flameado.....	40
1.14.4. Secado	42
1.14.4.1. Secado natural.....	43
1.14.4.2. Secado al vacío.....	43
1.14.4.3. Secado por aire forzado.....	44
1.14.4.4. Secado por congelación	44
1.14.4.5. Secado por microondas	44
1.14.4.6. Secadores adiabáticos	45
1.14.4.7. Secadores túnel	45
1.14.4.8. Secado por liofilización	45
1.14.4.9. Secadores de cabina o bandeja.....	46
1.14.5. Humedad	47
1.14.6. Molienda	48

1.14.6.1. Molino de Martillos	48
1.14.6.2. Molino de Discos	48
1.14.6.3. Molino de Rodillos	49
1.14.6.4. Molino de Bolas	49
1.14.7. Tamizado.....	50
1.14.8. Envasado al vacío.....	50
1.14.9. Almacenamiento	50
1.15. Selección de los equipos	50

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2. PARTE EXPERIMENTAL	55
2.1. Metodología del trabajo en laboratorio	57
2.1.1. Selección de la materia prima	57
2.1.2. Análisis fisicoquímico del locoto.....	57
2.1.3. Pelado.....	58
2.1.4. Método Seleccionado para el Deshidratado.....	59
2.1.5. Método seleccionado para la molienda.....	59
2.2. Materia prima y reactivos	59
2.3. Equipos y materiales	60
2.4. Diseño factorial.....	63
2.5. Procedimientos y técnicas empleados para la obtención de los resultados	64
2.5.1. Materia prima	65
2.5.2. Selección de la materia prima	65
2.5.3. Lavado.....	66

2.5.4. Pelado químico	66
2.5.5. Ecurrido	70
2.5.6. Remoción de semillas y pedúnculo.....	70
2.5.7. Pesado..	70
2.5.8. Cortado.....	70
2.5.9. Secado	70
2.5.10. Medición de la humedad	71
2.5.11. Molienda	71
2.5.12. Tamizado.....	72
2.5.13. Envasado.....	72
2.6.1. Análisis del locoto en polvo.....	72
2.6.1.1. Análisis sensorial	73
2.6.1.1.1. Metodología	73
2.6.2. Análisis fisicoquímico	74
2.6.3. Análisis microbiológico	74

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3. RESULTADOS.....	76
3.1 Resultados obtenidos de la parte experimental	76
3.2. Porcentaje de pérdida por muestra.....	76
3.3. Variación de la masa en función al tiempo	78
3.4. Determinación de la humedad en base seca.....	88
3.5. Determinación de la humedad en base húmeda.....	90
3.6. Determinación de la cinética de secado	92

3.7. Cálculo del tiempo de secado.....	95
3.8. Características del secador utilizado en la parte experimental	96
3.8.1 Selección del calentador de aire	97
3.8.2 Cálculo de la cantidad de aire necesario para el secado	98
3.9. Molienda	99
3.10. Tamizado.....	100
3.11. Cálculo de rendimiento del proceso	102
3.12. Resultados del análisis estadístico de experimentos	104
3.13. Balance de materia	110
3.13.1. Balance global de materia	115
3.14. Balance de energía	116
3.14.1. Calor sensible	116
3.14.2. Calor latente	116
3.14.3 Cálculo del calor total	117
3.15. Condiciones de operación en el secado, molienda, tamizado	117
3.16. Resultados del análisis sensorial	118
3.17. Costos del proyecto.....	119
3.17.1 Estudio económico	119
3.17.2. Costo de la materia prima	119
3.18. Análisis de costos de producción del locoto en polvo bajo modalidad artesanal y pequeña escala	123
3.19. Análisis de rentabilidad del proyecto en escala artesanal y pequeña escala	125

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	126
4.1. Conclusiones	126

4.2. Recomendaciones:	128
-----------------------------	-----

BIBLIOGRAFÍA

Referencias bibliográficas	130
----------------------------------	-----

INDICE DE CUADROS Y/O TABLAS

Cuadro 1: Consumo aparente de ajíes y pimientos secos o deshidratados en países líderes (Toneladas métricas)	2
Cuadro 2: Principales productores mundiales de Capsicum frescos en miles de toneladas métricas	3
Cuadro 3: Producción, Superficie y Rendimiento de Rocoto, 2014-2025.....	4
Cuadro 4: Regiones productoras de locoto en Perú.....	5
Cuadro 5: México: producción, superficie cosechada y rendimiento de chile manzano (Locoto) entre 2018 y 2025	5
Cuadro 6: Producción, superficie cosechada y rendimiento de chile manzano (locoto) invernadero entre 2018 y 2025 en México	6
Cuadro 7: Mayores productores de locoto en Bolivia	7
Cuadro 8: Superficie, producción y rendimiento por año agrícola en Bolivia	8
Tabla I-1. Variedades de Capsicum.	14
Tabla I-2. Variedades de locoto cultivadas en Bolivia.	16
Tabla I-3. Variedades de locoto cultivadas en Bolivia.	17
Tabla I-4. Taxonomía del locoto.....	18
Tabla I-5. Composición química de locoto	28
Tabla I-6. Capsaicina contenida en 100 g de Capsicum.	32
Tabla I-7. Tabla de comparación entre locoto verde y maduro.	35
Tabla I-8. Ventajas y desventajas del pelado químico.....	38
Tabla I-9. Ventajas y desventajas del escaldado.....	40
Tabla I-10. Ventajas y desventajas del pelado por flameado.....	41
Tabla I-11. Productos y el tipo de secador a usar	51
Tabla I-12. Ventajas y desventajas de los diversos tipos de secado	52

Tabla I-13. Tipo de molinos y productos en los que se emplean	53
Tabla I-14. Tipo de granulometría	54
Tabla I-15. Ventajas y desventajas de los molinos	54
Tabla II-1. Análisis fisicoquímico del locoto.	58
Tabla II-2. Equipos y materiales utilizados en el proceso.	60
Tabla II-3. Valores asignados para los niveles del diseño factorial.	63
Tabla II-4. Matriz del diseño factorial codificada.....	64
Tabla II-5. Matriz del diseño factorial codificada.....	64
Tabla II-6. Análisis fisicoquímico del locoto en polvo.....	74
Tabla II-7. Análisis microbiológico.	75
Tabla II-8. Límites máximos y mínimos permitidos.	75
Tabla III-1. Determinación de pérdidas de locoto	76
Tabla III-2. Pérdida de agua y obtención de locoto deshidratado.....	77
Tabla III-3. Variación de la masa respecto al tiempo a un grosor de 0.5 cm temperatura de 45°C y 9 horas.....	79
Tabla III-4. Variación de la masa respecto al tiempo a un grosor de 0.5 cm temperatura de 50°C y 9 horas.....	82
Tabla III-5. Variación de la masa respecto al tiempo a un grosor de 1 cm temperatura de 45°C y 16 horas.....	84
Tabla III-6. Variación de la masa respecto al tiempo a un grosor de 1 cm temperatura de 55°C y 16 horas.....	86
Tabla III-7 Variación de la humedad expresada en base seca del secado de locoto a 45°C, 1 cm, y 9 horas de secado.	89
Tabla III-8. Variación de la humedad expresada en base húmeda del secado de locoto a 45°C, 1 cm, y 9 horas de secado.	91
Tabla III-9. Método de tres puntos para el locoto	93

Tabla III-10. Pérdida de locoto deshidratado en la molienda.	100
Tabla III-11. Tamizado de locoto molido.	101
Tabla III-12. Cálculo del rendimiento para locoto en polvo	102
Tabla III-13: Pérdidas en el proceso de obtención experimental de locoto en polvo.....	103
Tabla III-14. Resultados del diseño factorial	104
Tabla III-15. Comparación del diseño observado y el generado.	108
Tabla III-16. Condiciones de operación en el secado, molienda y tamizado.....	118
Tabla III-17: Materia prima e insumos necesarios.....	119
Tabla III-18. Costo de materiales.....	119
Tabla III-19. Detalle de energía eléctrica.....	120
Tabla III-20. Detalle de otros servicios.....	120
Tabla III-21. Costos de análisis de laboratorio.	121
Tabla III-22. Detalle de costos totales	121
Tabla III-23. Detalle de costos por cada ensayo.....	122
Tabla III-24: Producción de locoto en polvo a partir de 46 kg de materia prima .	123
Tabla III-25: Resumen de Costos, Producción y Rentabilidad de un Lote de Locoto en Polvo para 46 kg de fruto fresco.	124
Tabla III-26: Producción de locoto en polvo a partir de 5 kg de materia prima. ..	124
Tabla III-27: Resumen de Costos, Producción y Rentabilidad de un Lote de Locoto en Polvo para 5 kg de fruto fresco.	125

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Partes del locoto	21
Figura 1-2 Etapas de desarrollo del cultivo	23
Figura 1-3 Fórmula química de la Capsaicina	31
Figura 1-4. Escaldado por vapor.....	39
Figura 1-5 Esquema del secador de bandejas	47
Figura 2-1: Descripción del proceso para obtener de manera experimental locoto en polvo.....	55
Figura 2-2. Inmersión en Hidróxido de sodio.....	67
Figura 2-3: Lavado con agua corriente.	68
Figura 2-4. Prueba con fenolftaleína.	69
Figura 3-1. Curva de variación de la masa respecto al tiempo a un grosor de 0.5 cm temperatura de 45°C y 9 horas.....	80
Figura 3-2. Ajuste de la curva (Figura 3-1)	81
Figura 3-3. Curva de variación de la masa respecto al tiempo a un grosor de 0.5 cm temperatura de 50°C y 9 horas.....	83
Figura 3-4. Ajuste de la curva (Figura 3-3)	83
Figura 3-5. Variación de la masa respecto al tiempo a un grosor de 1 cm temperatura de 50°C y 16 horas.....	85
Figura 3-6: Ajuste de la curva (Figura 3-5)	85
Figura 3-7. Variación de la masa respecto al tiempo a un grosor de 1 cm temperatura de 55°C y 16 horas.....	87
Figura 3-8. Ajuste de la curva (Figura 3-7)	87
Figura 3-9. Curva de variación de la humedad expresada en base seca del secado de locoto a 45°C, 1 cm, y 9 horas de secado.....	90

Figura 3-10. Curva de variación de la humedad expresada en base seca del secado de locoto a 45°C, 1 cm, y 9 horas de secado.....	92
Figura 3-11. Método de los tres puntos	94
Figura 3-12: Secador de marca Binder (modelo FD 53).....	97
Figura 3-13. Valores observados vs valores ajustados al modelo	109

ANEXOS

Anexo 1. Especificación de equipos y materiales utilizados en la parte experimental.....	137
Anexo 2: Encuesta aplicada para el análisis sensorial	141
Anexo 3: Encuesta aplicada para el análisis sensorial comparativo de locotos comerciales y mi proyecto.	146
Anexo 4: Resultados de análisis	150
Anexo 5: Registro fotográfico.....	152
Anexo 6: Diagrama psicométrico para Tarija	156
Anexo 7: Catálogo de normas bolivianas (Ibnorca)	157
Anexo 8: Guía de requisitos sanitarios para exportar alimentos a la Unión Europea.	158

GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS

C_p : Calor específico :($\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$ o $\text{kcal/kg}^\circ\text{C}$)

T_{op} : Temperatura de operación bulbo seco. ($^\circ\text{C}$)

T_{amb} : Temperatura ambiente ($^\circ\text{C}$)

Q_s : Calor sensible (kcal)

m_v : Masa de agua evaporada (kg)

h_{fg} : Calor latente de vaporización del agua (kcal/kg)

Q_L : Calor latente (kcal)

P : Potencia eléctrica (W)

I : Intensidad de la corriente (A)

V : Diferencia de potencial eléctrico (V)

E : Energía eléctrica (kWh o kcal)

X_{bh} : Base Húmeda

m_h : Masa húmeda.

kJ : Kilojulio

kg : Kilogramo

TM : Tonelada métrica

$^\circ\text{C}$: Grado Celsius

h : Hora.

η : Rendimiento

kcal : Kilocaloría

ρ : Densidad

W : Vatio (unidad de potencia)

m³ : Metro cúbico

mm : Milímetro

kWh : kilovatio-hora

UFC/g: Unidad formadora de colonias

NB: Norma Boliviana.

CE: Comunidad Europea

ANOVA: Análisis de varianza

SPSS: Statistical Package for the Social Sciences

CAGR: Tasa de crecimiento anual compuesto

INE: Instituto Nacional de Estadística

CEANID: Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo